

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



⑲ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Gebrauchsmuster**
⑩ **DE 299 04 705 U 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
B 21 D 26/02
B 22 F 7/08

⑲① Aktenzeichen:	299 04 705.9
⑲② Anmeldetag:	5. 3. 99
⑲⑦ Eintragungstag:	17. 6. 99
⑲③ Bekanntmachung im Patentblatt:	29. 7. 99

⑥⑥ Innere Priorität:
198 60 714. 8 23. 12. 98
199 05 124. 0 01. 02. 99

⑲③ Inhaber:
Mannesmann AG, 40213 Düsseldorf, DE

⑲④ Vertreter:
P. Meissner und Kollegen, 14199 Berlin

⑤④ Vorrichtung zur Herstellung eines Profiltteils

DE 299 04 705 U 1

DE 299 04 705 U 1

Vorrichtung zur Herstellung eines Profiltrils

5 Beschreibung

Die Neuerung betrifft eine Vorrichtung zur Herstellung eines aus einem Metallschaum und einem Metallblech bestehenden Profiltrils gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

10

Derartige Profiltrile sind aus dem Artikel "Metallschaum - Ein Werkstoff mit Perspektiven" (J. Banhart, Zeitschrift "Aluminium", 70. Jahrgang 1994, Ausgabe 3,4) bekannt. Mit Metallschaum versehene Profiltrile finden beispielsweise in der Automobilindustrie wegen ihres vorteilhaften statischen Knick- und Stauchverhaltens

15

Verwendung. Die guten Energieabsorptionseigenschaften von Metallschaum - beispielsweise Aluminiumschaum - können darüber hinaus als Aufprallschutz dynamisch ausgenutzt werden. Damit sind Profiltrile, die aus einem Metallblech und Metallschaum bestehen, herkömmlichen Profiltrilen ohne Metallschaum hinsichtlich ihrer statischen und

20

dynamischen Eigenschaften weit überlegen. Die pulvermetallurgische Metallschaumherstellung basiert auf den Bearbeitungsschritten Pulvermischen, kaltisostatisches Pressen, Strangpressen und ggfs. Walzen oder Walzplattieren. Die aufschäumbaren Metallpulverkörper liegen somit in Form von Stangenmaterial, Blechen oder plattierten Blechstrukturen vor. Sandwich-Strukturen können durch eine Plattierung - beispielsweise mit Stahlblechen - hergestellt werden. Beim nachfolgenden Erwärmen der aufschäumbaren Metallpulverkörper auf Temperaturen oberhalb der Liquidustemperatur und der Zersetzungstemperatur des Treibmittels setzt die Schaumgenese ein. Durch die Wahl geeigneter

25

30

35

Aufschäumkokillen sind vielfältige Formen herstellbar. Wird der aufschäumbare Metallpulverkörper in einem Hohlprofil aus Metallblech eingebracht und anschließend aufgeschäumt, so füllt der expandierende Metallschaum den Hohlraum aus. Auf diese Weise werden Hohlprofilteile mit Metallschaum hergestellt. Dabei ist das Metallblech zunächst in seine endgültige Gestalt umzuformen, ehe in einem

nachfolgenden Schrittdes vorverdichtete Metallpulverkörper eingebracht und anschließend aufgeschäumt wird, so daß die damit einhergehende Vielzahl von Verfahrensschritten eine hohe Verfahrenszeit zur Herstellung eines Profiteils erforderlich macht.

5

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Neuerung eine Vorrichtung zu schaffen, mit dem bzw. der in einfacher Weise und mit geringem Zeitbedarf aus Metallschaum und Metallblech bestehende Profiteile herstellbar sind.

10 Die Aufgabe wird durch den Anspruch 1 gelöst. Die jeweils rückbezogenen Unteransprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen der Neuerung an.

Das eingangs in der Figurenbeschreibung erläuterte Umformverfahren eines mit Metallschaum versehenen Metallbleches wird mit einer Vorrichtung ausgeführt, bei der
15 die Profilgebung in einem Gesenk für Innenhochdruckumformen erfolgt, das mit direkt oder indirekt wirkenden Mitteln zum Aufschäumen des Metallpulvers zu Metallschaum ausgestattet ist. Als Mittel zum Aufschäumen kann direkt das für das Innenhochdruckumformen verwendete Druckfluid vorgesehen werden, welches zu diesem Zweck über eine im Gesenk integrierte Heizeinrichtung oder durch externe
20 Heizmittel aufwärmbar ist. Weiterhin ist es denkbar das Druckfluid auf einen das Aufschäumen auslösenden Druckwert zu bringen. Hierbei kann eine Heizeinrichtung gänzlich eingespart werden. Es ist lediglich die Druckansteuerung zu modifizieren. Vorzugsweise liegt der auslösende Druckwert über dem Maximaldruck des Innenhochdruckumformens. Hierbei erfolgt das Aufschäumen erst nach der
25 Profilgebung. Der auslösende Druckwert kann auch im oberen Wertebereich des Innenhochdruckumformens liegen, so daß vor dem vollständigen Aufschäumen die Profilierung bereits erfolgt ist.

Das in das Gesenk einzubringende Metallblech kann in Form eines Metallrohres
30 ausgestaltet sein, das mit einem ein- oder aufgeschobenen Metallpulverkörper versehen ist. Weiterhin kann auch von einem Flachprofil als Metallblech ausgegangen werden, das mittels einer Berieselungsvorrichtung eine Metallpulverschicht erhält, die eine nachgeschaltete Verdichtungseinrichtung mit einer Walzenanordnung durchläuft, wobei zur Bildung eines rohrförmigen Hohlkörpers aus dem Flachprofil eine
35 nachfolgende Einformeinrichtung mit Fügeanordnung vorgesehen ist und wobei nach

5 einem Ablängen eines mit Metallpulver beschichteten Hohlprofilabschnittes dieser dem Gesenk zur Profilierung und zum Aufschäumen zugeführt wird. Mit der dem Innenhochdruckumformen mit Aufschäumen vorgeschalteten Herstellungsanordnung läßt sich in einem kontinuierlichen Herstellungsprozeß vorteilhaft ein mit Metallschaum versehenes Profilverteil produzieren.

10 Mittels einer der vorgeschalteten Herstellungsanordnung für ein Hohlprofil nachfolgenden Zieh- und / oder Glühvorrichtung ist das aufschäumbare Metallpulver nochmals vorverdichtbar.

15 Zur spezifischen bauteilbeanspruchungsoptimierten Herstellung des Profilverteils kann das als Flachprofil ausgestaltete Metallblech mit Bereichen unterschiedlicher Metallpulversorten und/oder Metallpulverdicken beschichtet sein. Damit kann auf spezielle statische und dynamische Anforderungen an das Profilverteil bei der Herstellung flexibel eingegangen werden.

20 Die die Neuerung betreffende Vorrichtung wird derart betrieben, daß ein Metallblech mit einer aufschäumbaren un- oder vorverdichteten Metallpulvertreibmischung, nachfolgend aufschäumbares Metallpulver genannt, versehen wird, die anschließende Profilgebung des Metallblechs mittels Innenhochdruckumformens in einem Gesenk vollzogen wird und das Metallpulver gleichzeitig oder nachfolgend direkt im Gesenk aufgeschäumt wird.

25 Damit wird der Schritt des Umformens zu einem Profilverteil hier mittels Innenhochdruckumformens ausgeführt, womit selbst kompliziert ausgestaltete Profilverteile mit hoher Genauigkeit innerhalb kürzester Zeit herstellbar sind. Zum Innenhochdruckumformen gelangt das Metallblech - als Hohlprofil oder als Flachprofil - mit bereits aufgebrachtem un- oder vorverdichteten aufschäumbaren Metallpulver. Somit ist es möglich, direkt im Gesenk entweder gleich beim Umformen oder danach
30 das Aufschäumen des Metallpulvers zu Metallschaum zu vollziehen.

Vorzugsweise wird das Aufschäumen durch eine Temperaturerhöhung nach oder beim Innenhochdruckumformen ausgelöst. Zum Start des Aufschäumens bei einer vorteilhaft geringeren Auslösetemperatur kann eine Druckabsenkung herbeigeführt werden oder
35 eine bei geringer Auslösetemperatur aufschäumbare Metallpulverlegierung oder

Treibmittel gewählt werden. Diese Maßnahme senkt die durch die Erwärmung bedingten Energieverbrauchspunkte und verbessert die Aufrechterhaltung reproduzierbarer Bauteileigenschaften.

- 5 Daneben kann das Aufschäumen auch durch eine Druckerhöhung nach oder beim Innenhochdruckumformen ausgelöst werden. Zu diesem Zwecke kommt ein drucksensitives aufschäumbares Metallpulver zur Anwendung.

10 Als Metallblech kann zum einen ein Hohlprofil mit einem vorgefertigten aufschäumbaren Metallpulverkörper versehen werden, der durch Ein- oder Aufstecken mit dem Hohlprofil verbunden wird; zum anderen kann das Metallblech auch als Flachprofil ausgeführt sein, das mit aufschäumbarem Metallpulver beschichtet wird. Im letztgenannten Fall wird durch das Innenhochdruckumformen vorzugsweise aus dem Flachprofil ein offenes Profileil geformt. Es ist jedoch nach einer weiteren die
15 Neuerung verbessernden Maßnahme möglich, daß aus dem Flachprofil ein Hohlprofil geformt wird. Hierzu kann in einem kontinuierlich laufenden Prozeß zuerst Bandmaterial mit aufschäumbaren Metallpulver berieselt werden, das anschließend über Walzen vorverdichtet, während und nachfolgend der damit gewonnene Bandmaterial-Metallpulver-Verbund zu einem Spaltrohr eingeformt wird, dessen Spalt
20 schließlich - vorzugsweise durch Schweißen - verschlossen wird.

25 Weiterhin kann zur Gewährleistung einer reproduzierbaren Qualität des Endproduktes das Metallblech mit dem aufschäumbaren Metallpulver vor der Profilgebung durch Innenhochdruckumformen durch Ziehen und / oder durch Glühen vorverdichtet werden.

Weitere die Neuerung verbessernde Maßnahmen werden nachstehend gemeinsam mit der Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Neuerung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigt:

30 Fig. 1 einen allgemeinen Ablaufplan für das Neuerungsgemäße Herstellungsverfahren,

Fig. 2 einen Teilablaufplan bei Verwendung eines Hohlprofils als Metallblech,

- Fig. 3 einen Teilablaufplan bei Verwendung eines Flachprofils als Metallblech, wobei ein offenen Profilteil hergestellt wird,
- Fig. 4 einen Teilablaufplan bei Verwendung eines Flachprofils als Metallblech, wobei ein Hohlprofilteil hergestellt wird,
- Fig. 5 eine Prinzipdarstellung einer dem Innenhochdruckumformen mit Aufschäumen vorgeschalteten Herstellungsanordnung zur Erzeugung eines mit vorverdichtetem Metallpulver versehenen Flach- oder Hohlprofils,
- Fig. 6 eine Prinzipdarstellung einer Anordnung zur Herstellung eines Hohlprofilteils oder eines offenen Profilteils mit Metallschaum beim Innenhochdruckumformen und
- Fig. 7 eine Prinzipdarstellung zur Beschichtung von Metallblech mit Metallpulver für eine bauteilbeanspruchungsoptimierte Herstellung eines Profilteils.
- Die Herstellung für ein metallschaumverstärktes Profilteil wird nach den in Figur 1 gezeigten Schritten ausgehend von einem Metallblech und einem aufschäumbaren Metallpulvers vollzogen. Das Metallblech kann entweder in Gestalt eines Hohlprofils oder als Flachprofil ausgebildet sein. In einem ersten Schritt wird das Metallblech mit dem aufschäumbaren Metallpulver versehen. Das Metallpulver wird vorverdichtet, um einen Verbund mit dem Metallblech zu bilden. Anschließend wird in einem zweiten Schritt durch Innenhochdruckumformen in einem Gesenk die Profilgebung des Metallbleches vollzogen, wobei gleichzeitig oder nachfolgend direkt im Gesenk das Metallpulver aufgeschäumt wird. Als Endprodukt entsteht so das Profilteil mit Metallschaum, wobei bei einem Hohlprofil als Metallblech ein Hohlprofilteil und bei einem Flachprofil als Metallblech ein offenes Profilteil entsteht. Zwei offene Profilteile können jedoch in einem nachfolgenden Schritt zu einem geschlossenen Hohlprofilteil durch Fügen verbunden werden.
- Wenn gemäß Figur 2 von einem Hohlprofil als Metallblech - beispielsweise einem Rohr - ausgegangen wird, so kann ein gepreßtes Metallpulver mit fester geometrischer

Gestalt, d. h. ein Metallpulverkörper, entweder in das Hohlprofil eingebracht werden oder hierauf aufgesteckt werden. Zur Herstellung eines Hohlprofilteils mit Metallschaum wird in vorstehend beschriebener Weise weiterverfahren.

- 5 Wird gemäß Figur 3 von einem Flachprofil als Metallblech ausgegangen, so kann das Flachprofil mit Metallpulver beschichtet werden. Es entsteht damit ein Verbund zwischen dem Flachprofil und dem Metallpulver. Zur Herstellung eines offenen Profilteils mit Metallschaum wird analog verfahren.
- 10 Wenn gemäß Figur 4 von einem Flachprofil als Metallblech - beispielsweise einem Metallband - ausgegangen wird, so wird zur Herstellung eines Hohlprofils mit Metallschaum in einem ersten Schritt zunächst das Flachprofil mit dem Metallpulver - wie vorstehend beschrieben - beschichtet. Dieses Beschichten erfolgt durch eine Berieselung des Flachprofils mit Metallpulver und anschließendem Verdichten. In
15 einem zweiten Schritt erfolgt das Umformen des Verbundes zu einem Hohlprofil, d. h. zu einem Rohr. Anschließend wird wie vorstehend die Profilgebung und das Aufschäumen über den Innenhochdruckumformschritt ausgeführt.
- 20 Die dem Innenhochdruckumformen mit Aufschäumen vorgeschaltete Herstellungsanordnung zur Erzeugung eines mit vorverdichtetem Metallpulver versehenen Hohlprofils oder Flachprofils geht nach Figur 5 im Falle eines Hohlprofils von Metallpulver 1 aus, welches in ein vorgefertigtes Hohlprofil durch Ein- oder Aufstecken 2 eingebracht wird. Das Hohlprofil kann einen kreisförmigen Querschnitt 3 aufweisen. Soll das Hohlprofil einen nicht-kreisförmigen Querschnitt 4, beispielsweise
25 einen trapezförmigen Querschnitt erhalten, so ist dieser Querschnitt über eine Zieheinrichtung 5 herstellbar, deren Matrize den gewünschten nicht-kreisförmigen Querschnitt 4 ausgehend von einem kreisförmigen Querschnitt 3 erzeugt. Um das nachfolgende Ein- oder Aufstecken 2 in diesem Fall zu ermöglichen, ist der Querschnitt des aus dem Metallpulver 1 vorverdichteten Metallpulverkörpers 6 an den Querschnitt
30 des Hohlkörpers anzupassen.

Im Falle eines Flachprofils als Ausgangsprodukt wird mittels einer Berieselungseinrichtung 7 das Flachprofil 8 mit einer Schicht aus Metallpulver 1 versehen. Eine nachfolgende Verdichtungseinrichtung 9 in Form einer
35 Walzanordnung preßt das Metallpulver 1 auf das Flachprofil 8 auf. Ein Verdichten

kann auch über eine der Verdichtungseinrichtung 9 nachgeschaltete Verdichtungseinrichtung 9' erzeugt werden, die ein partielles Vorumformen des Flachprofils 8 beispielsweise über einen Tiefzieh- oder Streckziehprozeß bewirkt. Daraus läßt sich dann ein offenes Hohlprofil mit Metallschaum herstellen. Das mit der
 5 Verdichtungseinrichtung 9 vorbereitete Flachmaterial wird mittels einer nachfolgenden Einformvorrichtung 10 mit Fügeanordnung zu einem rohrförmigen Hohlprofil 11 umgeformt. Das Hohlprofil 11 mit dem vorverdichteten Metallpulver ergibt letztlich ein mit Metallschaum gefülltes Hohlprofilteil.

10 Optional kann der vorstehend beschriebenen, dem Innenhochdruckumformen mit Aufschäumen vorgeschalteten Herstellungsanordnung eine Zieh-/Glüheinrichtung 12 folgen, mit der ein weiteres Vorverdichten des Metallpulvers erzielt wird.

Die Figur 6 skizziert die Vorrichtung zur Herstellung des mit Metallschaum versehenen
 15 Profilsteils, welches der vorgeschalteten Herstellungsanordnung folgt. Für ein Flachprofil 13 mit vorverdichteter Metallpulverauflage 14 erfolgt die Profilierung in einem Gesenk 15 für Innenhochdruckumformen, welches mit - nicht dargestellten - direkt oder indirekt wirkenden Mitteln zum Aufschäumen ausgestattet ist. Diese können beispielsweise in Form einer im Gesenk 15 integrierten Heizeinrichtung ausgebildet
 20 sein. Es entsteht ein offenes Profilteil 16 mit Metallschaum.

Für ein Hohlprofil 17 mit innenwandig und / oder außenwandig beschichtetem Metallpulver 18 oder mit einem inneren und / oder äußeren Metallpulverkörper erfolgt die endgültige Profilierung in einem Gesenk 15' mit den wie vorstehend beschriebenen
 25 Merkmalen. Es entsteht ein geschlossenes mit innenwandigem Metallschaum versehenes Hohlprofilteil 19 oder ein geschlossenes mit Metallschaum ausgefülltes Hohlprofilteil 20.

Gemäß Figur 7 ist ein Metallblech zur bauteilbeanspruchungsoptimierten Herstellung
 30 eines Profilteils mit Bereichen (I, II, III) unterschiedlicher oder gleicher Metallpulversorten (X, Z) und/oder Metallpulverdicken (a, b) auf Ober- und / oder Unterseite beschichtet. Diese so definierten Metallverbundbleche können in Form von tailored blanks miteinander verbunden sein. Über diese frei wählbaren Parameter kann die Verstärkung eines Profilteils entsprechend der Bauteilbeanspruchung optimiert
 35 werden.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|-------------------------------------|
| 1 | Metallpulver |
| 2 | Ein- oder Aufstecken |
| 3 | kreisförmiger Querschnitt |
| 4 | nicht-kreisförmiger Querschnitt |
| 5 | Zieheinrichtung |
| 6 | Metallpulverkörper |
| 7 | Berieselungseinrichtung |
| 8 | Flachprofil |
| 9 | Verdichtungseinrichtung |
| 10 | Einformeinrichtung |
| 11 | rohrförmiges Hohlprofil |
| 12 | Zieh-/Glüheinrichtung |
| 13 | Flachprofil |
| 14 | Metallpulverauflage |
| 15 | Gesenk |
| 16 | offenes Profilteil |
| 17 | Hohlprofil |
| 18 | innenwandiges Metallpulver |
| 19 | innenwandverstärktes Hohlprofilteil |
| 20 | ausgefülltes Hohlprofilteil |

Ansprüche

1. Vorrichtung zur Herstellung eines aus Metallschaum und einem Metallblech bestehenden verstärkten Profiltails (16,19,20), wobei das Metallblech mit einem aufschäumbaren vorverdichteten Metallpulver (14,18) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilgebung in einem Gesenk (15,15') für Innenhochdruckumformen erfolgt, das mit Mitteln zum Aufschäumen des Metallpulvers (14,18) zu Metallschaum ausgestattet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittel zum Aufschäumen eine im Gesenk (15,15') das Metallblech berührend oder berührungslos zumindest teilweise umgebende Heizeinrichtung vorgesehen ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittel zum Aufschäumen das für das Innenhochdruckumformen verwendete Druckfluid vorgesehen ist, welches zu diesem Zwecke erwärmbar ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittel zum Aufschäumen das für das Innenhochdruckumformen verwendete Druckfluid vorgesehen ist, das auf einen das Aufschäumen auslösenden Druckwert bringbar ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß der auslösende Druckwert über dem Maximaldruck des
Innenhochdruckumformens liegt.
5
6. Vorrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß der auslösende Druckwert im oberen Druckwertebereich des
Innenhochdruckumformens liegt.
10
7. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Metallblech in Form eines Hohlprofils (3,4) mit einem ein- oder
aufgeschobenen Metallpulverkörper (6) in dem Gesenk (15,15') zur Profilgebung
15 sowie zum Aufschäumen einbringbar ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein als Flachprofil (8) ausgestaltetes Metallblech mittels einer
20 Berieselungseinrichtung (7) eine Metallpulverschicht erhält, die beide eine
nachgeschaltete Verdichtungseinrichtung (9,9') durchlaufen, wobei zur Bildung
eines rohrförmigen Hohlprofils (11) aus dem Flachprofil (8) eine nachfolgende
Einformeinrichtung (10) mit Fügeanordnung vorgesehen ist und wobei nach
einem Ablängen der mit Metallpulver beschichtete Hohlprofilabschnitt in das
25 Gesenk (15,15') zur Profilgebung und zum Aufschäumen zugeht.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß das mit Metallpulver beschichtete Metallblech vor dem Einbringen in das
30 Gesenk eine Zieh- und / oder Glüheinrichtung (12) durchläuft.

10. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß das zur bauteilbeanspruchungsoptimierten Herstellung des Profils als
Flachprofil ausgestaltete Metallblech mit Bereichen (I, II, III) unterschiedlicher
oder gleicher Metallpulversorten (X, Z) und/oder Metallpulverdicken (a, b) auf
Ober- und / oder Unterseite beschichtet ist, wobei diese so definierten
Metallverbundbleche in Form von tailored blanks oder tailored tubes miteinander
verbunden sind.

Metallblech

Metallpulver

Verbund von Metallblech
(Hohl- oder Flachprofil) mit
aufschäumbarem Metallpulver

Umformen und Aufschäumen
des Verbundes (gleichzeitig oder
nachfolgend) durch IHU

Profilteil mit Metallschaum

Fig. 1

Hohlprofil
(Metallblech)

Metallpulverkörper

Ein- oder Aufstecken des Metall-
pulverkörpers in/auf Hohlprofil

zur Herstellung eines
Hohlprofileiles

Fig. 2

Flachprofil
(Metallblech)

Metallpulver

Beschichten des Flachprofiles mit
Metallpulver

zur Herstellung eines
offenen Profileiles

Fig. 3

Flachprofil
(Metallblech)

Metallpulver

Beschichten des Flachprofiles mit
Metallpulver

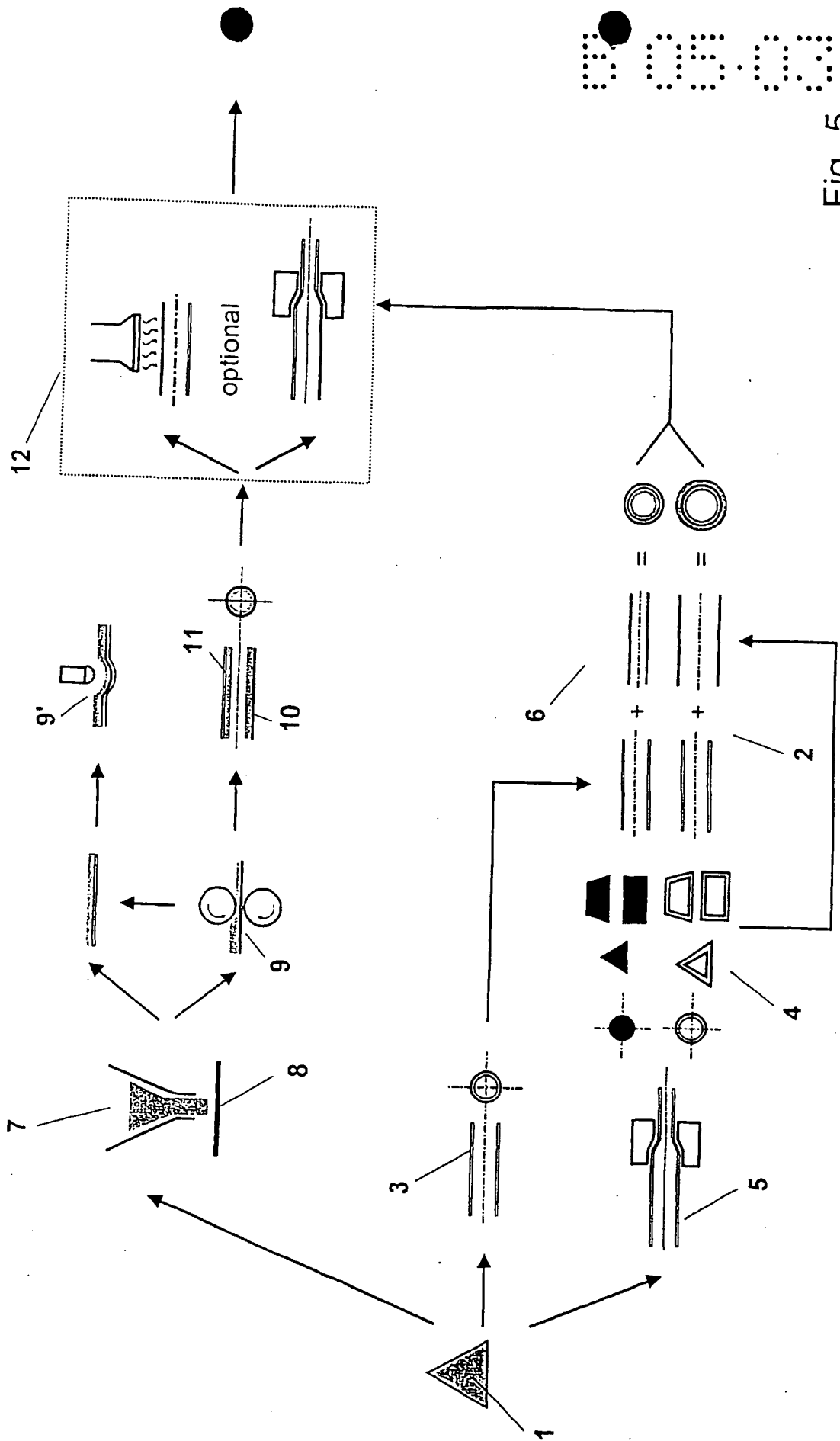
Umformen des Flachprofiles
zu einem Hohlprofil (Rohr)

zur Herstellung eines
Hohlprofileiles

Fig. 4

8 05.03.99

Fig. 5



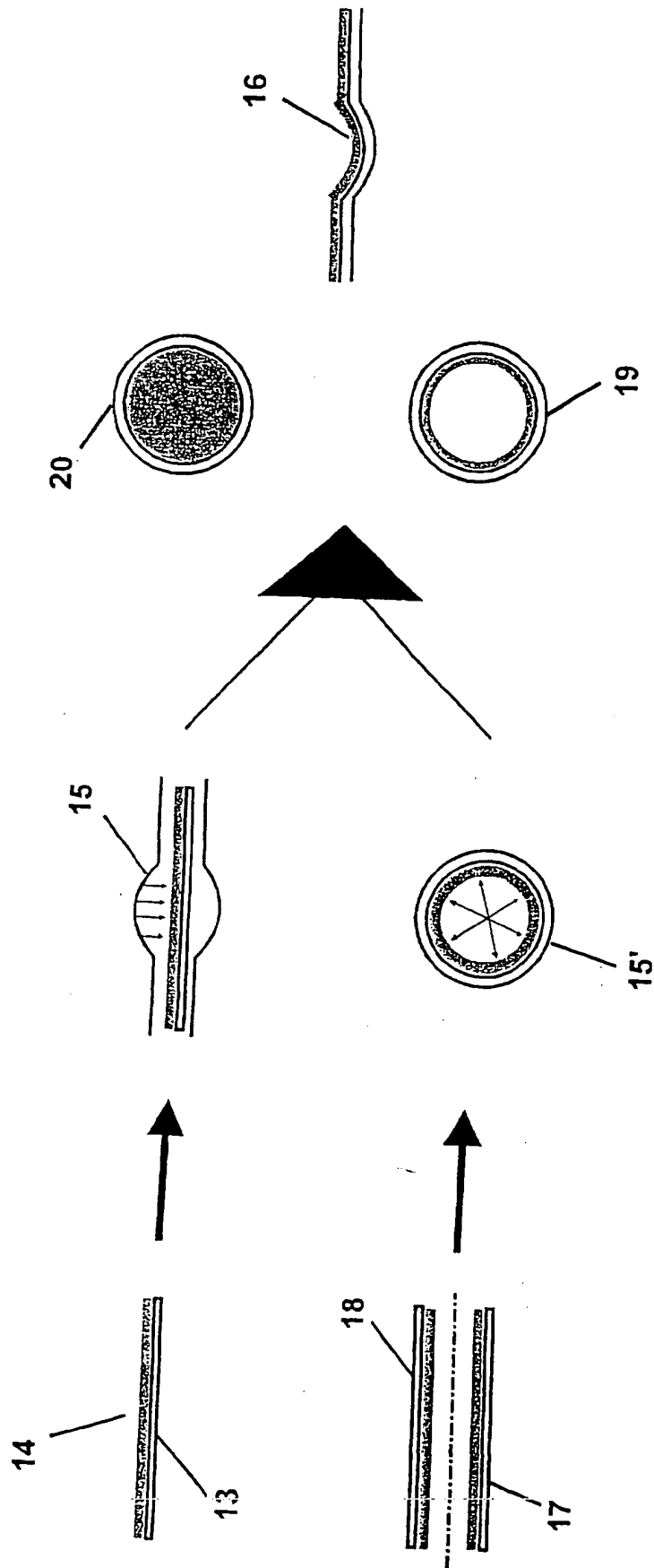


Fig. 6

8 05.03.99

Fig. 7

